FORCES CANADIENNES
RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DES VOLS (RESV)

NUMÉRO DE DOSSIER : 1010-CT155202
DATE DU RAPPORT : 12 juin 2007

TYPE D'AÉRONEF : CT155 - Hawk
DATE/HEURE : 14 mai 2004, 22 h 30 Z (16 h 30 L)
LIEU DE L'ACCIDENT : 15e Escadre Moose Jaw (Saskatchewan)
CATÉGORIE : accident de catégorie « A »

Le présent rapport a été rédigé avec l'autorisation du ministre de la Défense nationale (MDN) en vertu de l'article 4.2 de la *Loi sur l'aéronautique* et conformément au document A-GA-135-001/AA-001, *Sécurité des vols dans les Forces canadiennes*.

Sauf en ce qui a trait à la Partie 1 — Renseignements de base, le contenu du présent rapport ne doit servir qu'aux fins de prévention des accidents. Le rapport a été rendu public avec l'autorisation du directeur de la Sécurité des vols, Quartier général de la Défense nationale, en vertu des pouvoirs qui lui sont délégués par le MDN à titre d'autorité chargée des enquêtes sur la navigabilité (AEN) des Forces canadiennes.

RÉSUMÉ

La mission faisait partie d'une « conversion sur type » pour un élève-pilote ayant déjà obtenu son brevet de pilote en préparation du cours d'entraînement initial de pilote de chasse de Phase IV à Cold Lake. L'équipage avait exécuté la partie navigation du vol et était en train d'effectuer des « circuits courts » à la 15e Escadre Moose Jaw. Le pilote instructeur venait tout juste de prendre les commandes de l'avion, l'avion accélérait et se trouvait près de l'extrémité de départ de la piste 29 droite. À environ 70 pieds au-dessus du sol (AGL), à une vitesse indiquée de 239 nœuds (KIAS), train d'atterrissage rentré et volets en position de combat, un oiseau a heurté le côté gauche de l'avion. Plusieurs avertissements de moteur ont immédiatement suivi ainsi que des indications de très haute température moteur. Le pilote instructeur a amorcé une montée pour échanger de la vitesse pour de l'altitude, a confirmé que la température moteur demeurait élevée et a dit à l'élève-pilote de se préparer à abandonner l'avion. Au moment où l'avion a franchi 3000 pieds au-dessus du niveau moyen de la mer (MSL) (environ 1000 pieds AGL) en descente, et après avoir confirmé que l'élève-pilote était prêt, le pilote instructeur a déclenché l'éjection. Les deux pilotes ont survécu à l'éjection, mais le pilote instructeur a été grièvement blessé, tandis que l'élève-pilote n'a été que légèrement blessé. L'avion s'est écrasé dans un champ de ferme, à environ un mille au nord de la 15e Escadre, et il a été détruit.

TABLE DES MATIÈRES

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE 1
1.1 Déroulement du vol 1
1.2 Victimes 2
1.3 Dommages à l'aéronef 2
1.4 Dommages indirects 2
1.5 Renseignements sur le personnel 2
1.6 Renseignements sur l'aéronef 3
1.7 Renseignements météorologiques 4
1.8 Aides à la navigation 4
1.9 Télécommunications 4
1.10 Renseignements sur l'aérodrome 4
1.11 Enregistreurs de bord 5
1.12 Renseignements sur l'épave et l'impact 6
1.13 Renseignements médicaux 7
1.14 Incendie, dispositifs pyrotechniques et munitions 8
1.15 Questions relatives à la survie 8
1.16 Essais et recherches 10
1.17 Renseignements sur l'organisation et la gestion 10
1.18 Techniques d'enquête utiles et efficaces 10
2. ANALYSE 11
2.1 Généralités 11
2.2 L'aéronef 11
2.3 L'impact d'oiseau 11
2.4 Réaction de l'équipage 13
2.5 La technqiue de montée en chandelle 17
2.6 Facteurs latents 18
2.7 Analyse de la séquence d'éjection 18
2.8 Programme de contrôle de la faune 23
2.9 Récupération initiale de l'épave 24
2.10 Me sures de sécurité relatives au cordeau détonant miniature 25
3. CONCLUSIONS 27
3.1 Faits établis 27
3.2 Cause 30
4. MESURES DE PRÉVENTION 31
4.1 Mesures de prévention prises 31
4.2 Mesures de prévention requises 31
4.3 Autres préoccupations liées à la sécurité 34
4.4 Commentaires du DSV 35
ANNEXE A : PHOTOS A1
ANNEXE B : SIGLES ET ABRÉVIATIONS B1

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le CT155 Hawk est un jet d'entraînement à la chasse évolué, construit par British Aerospace Systems (BAE). La variante Mk 115 de cet avion sert à l'entraînement en vol de l'OTAN au Canada (NFTC). Tous les avions sont équipés de sièges éjectables Martin-Baker Mk BA10LH en configuration deux pilotes en tandem. Le pilote instructeur est assis à l'arrière et dispose à peu près des mêmes instruments et commandes que la place avant.

Bombardier Aéronautique, Entraînement au vol militaire (BMAT) est le contractant principal d'un consortium de sociétés civiles qui fournissent au Hawk sa maintenance, ses simulateurs, ses abris et de nombreuses fonctions d'aérodrome à la 15^{e} Escadre.

La mission consistait en un vol de navigation, dans le cadre du programme de cours de conversion, conçu pour familiariser l'élève-pilote à la variante Hawk NFTC avant que ne commence le cours d'entraînement initial de pilote de chasse de Phase IV à Cold Lake (Alberta). La partie navigation du vol s'était déroulée normalement, et l'équipage effectuait du perfectionnement des compétences pilote à la 15^{e} Escadre Moose Jaw. Le pilote instructeur venait tout juste de prendre les commandes de l'élève-pilote après l'exécution d'un posé-décollé. Il a confirmé que l'élève-pilote avait « tout rentré », sélectionné les volets en position de combat et, tout juste comme l'avion approchait de l'extrémité de départ de la piste 29R, un oiseau est passé comme un éclair à gauche du nez de l'avion. Les deux membres d'équipage ont entendu un bruit sourd et ont senti des vibrations associées à un changement de hauteur du son du moteur. Plusieurs avertissements audio et voyants moteur ont immédiatement suivi (contraintes excessives moteur ou température trop élevée [T6NL] et amplificateur de commande de régime moteur [ECA] ainsi que des indications de très haute température moteur (660 ^{o}C). L'avion se trouvait alors à environ 70 pieds AGL et il volait à une vitesse de 239 KIAS.

Le pilote instructeur a amorcé une montée afin d'échanger de la vitesse pour de l'altitude, a confirmé que la température moteur demeurait élevée, a réduit les gaz au ralenti et a dit à l'élève-pilote de « se préparer à abandonner l'avion ». Au début, la « montée en chandelle » s'est faite ailes à l'horizontale jusqu'à environ 3000 pieds MSL (1000 pieds AGL), altitude à laquelle un virage à droite a été effectué. Le point culminant de la montée s'est établi à presque 3700 pi MSL, mais la vitesse a été réduite à 123 KIAS, et l'avion a commencé à vibrer légèrement alors qu'il approchait de la vitesse de décrochage. L'angle d'inclinaison a été réduit, le nez de l'avion a défilé sur l'horizon et comme l'avion franchissait 3000 pi MSL (1000 pi AGL) en descente, le pilote instructeur a avisé la tour de Moose Jaw de son intention de s'éjecter. L'avion se trouvait à 2690 pi MSL (690 pi AGL), volait à une vitesse de 142 KIAS, descendait à un

taux de 2000 pieds par minute (pi/min), les ailes à l'horizontale dans un piqué de 14 degrés.

Les deux occupants se sont éjectés et sont descendus en parachute pendant environ 30 secondes avant de toucher le sol. Le pilote instructeur a été grièvement blessé pendant la séquence d'éjection, mais l'élève-pilote n'a subi que des blessures légères. L'avion a été détruit lorsqu'il s'est écrasé dans un champ de ferme environ sept secondes après l'éjection, à un mille au nord de la 15e Escadre.

1.2 Victimes

	Équipage	Passagers	Autres
Décès	0	Nil	Nil
Blessures graves	1	Nil	Nil
Blessures légères	1	Nil	Nil

1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion CT155202 a subi des dommages de catégorie « A » causés par l'impact avec le sol et l'incendie qui s'en est suivi. Il y avait trois parties principales sur le tracé de l'épave : la voilure, le fuselage (avec moteur) et l'empennage (avec buse d'éjection). Les dommages à l'avion ont été très importants, et très peu de celui-ci a pu être récupéré.

1.4 Dommages indirects

L'avion s'est écrasé dans un champ cultivé, sur une terre agricole privée située tout juste au nord de la 15e Escadre. Les sièges éjectables et des fragments de la verrière sont aussi tombés dans le même champ. L'incendie des ailes et du fuselage après l'écrasement a été éteint par les pompiers de la 15e Escadre. Les zones brûlées associées à ces incendies couvraient une surface d'environ 100 mètres sur 30 mètres. L'avion s'est écrasé en ayant encore à son bord environ 1050 livres de carburant. L'équipe de récupération a retiré environ 250 livres (35 gallons) de carburant des ailes avant de transporter celles-ci à la 15e Escadre.

L'officier d'environnement (Bombardier) de l'escadre a été présent pendant tout le processus de récupération. Un plan visant à établir un périmètre du sol environnant et à tester le niveau de contamination dans les zones touchées a été lancé. Environment Saskatchewan a été consulté pendant tout ce processus, et le champ a été nettoyé et contrôlé conformément à un plan d'assainissement au cours des mois suivants.

1.5 Renseignements sur le personnel

	Pilote instructeur	Élève-pilote
Grade	Capt	Slt aviation
Compétence/Catégorie valide	A2 - Oui	Oui
Catégorie médiale valide	Oui	Oui
Nombre total d'heures de vol	3639	328
Nombre d'heures de vol sur type	834,4	96,5
Nombre d'heures de vol au cours des 30 derniers jours	39,8	8,0
Nombre d'heures de service au cours des 24 dernières heures	10	10
Nombre d'heures de vol le jour de l'accident	2,7	2,3

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Les dossiers de l'avion ont été examinés mais ils n'ont révélé aucune anomalie. L'avion totalisait 1835 heures cellule, et le moteur, 471,6 heures. Les éléments suivants ont été retirés de l'avion par la DSV pour examen plus poussé au Centre d'essais techniques de la qualité (CETQ) :

a. tableaux des voyants d'avertissement du cockpit : avant, numéro de série 240; arrière, numéro de série 243;
b. sondes de température tuyère (T6) des positions 8 et 10 heures;
c. vanne de régulation de pression et d'arrêt de conditionnement d'air, numéro de série 1091;
d. vanne de manche d'entrée d'air, numéro de série 1021;
e. moteur, numéro de série 7823;
f. girouette d'angle d'attaque, numéro de série EY1155;
g. régulateur de carburant, numéro de série B593;
h. boîte à cames, réf. AX56720, de moteur, sans numéro de série;
i. composants du module d'acquisition de données (DAU) :
    (1) bloc d'alimentation, réf. 1590-PSU-1000;
    (2) mémoire vive statique (SRAM) 960MC/1553B/2MB, réf. 1590-CPU-0000;
    (3) module contrôleur de mémoire, réf. 1590-MEM-1000;
    (4) filtre d'alimentation, réf. 1590-PSF-1000;
    (5) carte de circuit imprimé, carte-mère, réf. 1590-MBD-0000;
    (6) carte de circuit imprimé, module d'interface moteur, réf. 1590-HWK-1322;
    (7) cartouche de transfert de données, numéro de série 0162.

1.7 Renseignements météorologiques

Un examen du dossier météorologique après l'accident a révélé qu'aucun AIRMET, SIGMET ni AVERTISSEMENT MÉTÉOROLOGIQUE n'avait été diffusé pour la région.

METAR

CYMJ 142000Z 30009G18KT 15SM SCT067TCU BKN092 11/M03 A3007 RMK TCU3AC4 SLP202

CYMJ 142100Z 31010G15KT 15SM BKN065TCU BKN100 11/M03 A3005 RMK TCU6AC2 SLP196

CYMJ 142200Z 29014G20KT 15SM BKN074TCU BKN095 11/M04 A3004 RMK TCU6AC1 SLP192

TAF

CYMJ 141730Z 141801 30010KT P6SM BKN060 BECMG 2224 24010KT

Observation météorologique réelle prise après l'accident :

142229Z 28013KT M79 BKN 91 BKN 15SM 12/M4 A3004 TCU7AC2

1.8 Aides à la navigation

Aucune installation de navigation n'a été utilisée lors de la séquence d'urgence de l'avion.

1.9 Télécommunications

L'équipage a utilisé les fréquences radio standard de la tour pendant la situation d'urgence et a communiqué à la tour son intention de s'éjecter avant de le faire. Le CT155 n'est équipé d'aucun émetteur de tonalité d'éjection, et il s'en remet exclusivement au fonctionnement de la radiobalise individuelle de repérage. Il y avait deux autres CT155 dans le circuit de Moose Jaw au moment de l'éjection. Ni l'un ni l'autre équipage de ces avions n'a entendu de tonalité d'urgence. Le Centre de contrôle des règles de vol aux instruments (IFRCC) de Moose Jaw a capté momentanément une tonalité de détresse. Les satellites SAR (surveillés par le CCOS/CMCC de Trenton) n'ont reçu aucun signal de détresse de la radiobalise individuelle de repérage sur 406 MHz avant 0 h 40 Z, le 15 mai 2004, plus de deux heures après l'accident, à 22 h 30 Z.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

La 15^{e} Escadre Moose Jaw est principalement une base d'entraînement pour NFTC. C'est également la base d'attache de l'Escadron de démonstration aérienne des Forces canadiennes, les Snowbirds. L'aéroport dispose de

contrôleurs dans la tour, de contrôleurs sol et de contrôleurs arrivée/départ, d'un bureau météorologique (CPFC) WD1, d'un service d'intervention d'urgence (CFR) complet et d'un service automatique d'information de région terminale (ATIS).

La 15e Escadre possède principalement deux pistes parallèles, le doublet 29-11 gauche et droite. La piste principale est la 29R-11L (piste intérieure) (8320 pi x 150 pi en asphalte), qui sert aux départs et aux arrivées et de piste principale pour les CT155 (Hawk). La piste extérieure, 29L-11R (7280 pi x 150 pi en asphalte), est la piste principale pour les CT156 (Harvard II) en conditions météorologiques de vol à vue (VMC). La piste intérieure est desservie par un PAR, un VORTAC, un ILS, un NDB et un PAPI, tandis que la piste extérieure est réservée aux opérations VMC. Une troisième piste, 21-03 (3400 pi x 100 pi en asphalte) sert principalement de voie de circulation ou est utilisée en cas d'urgence. Au moment de l'accident, tous les services étaient opérationnels.

1.11 Enregistreurs de bord

Ce type d'aéronef n'est pas équipé d'un enregistreur phonique-enregistreur de données de vol (CVFDR), mais il possède une bande vidéo du collimateur de pilotage (HUD), un module d'acquisition de données (DAU) et une cartouche de transfert de données (DTC).

La bande du collimateur de pilotage sert à visionner la mission après celle-ci. Elle a été récupérée dans son boîtier, conditionnée et expédiée au Centre de dépouillement des enregistreurs de vol (CDEV) du Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Le CDEV a récupéré, rembobiné et reformaté cette bande. Elle contenait la mission complète, n'ayant subi qu'une légère dégradation au cours des 30 dernières secondes du vol. La bande contient les conversations et les paramètres de l'avion, y compris l'enregistrement vidéo de l'oiseau, de la séquence d'éjection et de l'écrasement au sol.

La bande du collimateur de pilotage contient les conversations de l'équipage et des radios. Après un accident, la piste des conversations est traitée comme un CVR, privilèges connexes compris, conformément à la *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* (BCEATST) et le document A-GA-135-001/AA-001, *Sécurité des vols dans les Forces canadiennes*.

Le module d'acquisition des données (DAU) enregistre certains paramètres de l'avion et du moteur, mais cet appareil n'est pas à l'épreuve des chocs. Le DAU a été détruit dans l'écrasement.

La cartouche de transfert de données (DTC) est un bloc mémoire portatif à semi-conducteurs qui contient l'information de planification de la mission tirée du calculateur de planification de mission au sol, et elle est installée dans l'avion. Pendant le vol, la DTC emmagasine divers paramètres liés à la navigation et aux armes ainsi que de l'information sur les défaillances de système. Cet appareil ne

résiste pas aux chocs, et si l'avion s'écrase, les contacts d'écrasement vont causer l'effacement de la DTC. Des représentants de NFTC sont en train d'examiner les mesures nécessaires pour éliminer cette fonction de la flotte des Hawk. L'information pourrait alors être accessible pour l'enquête sur un accident dans les cas où la DTC n'est pas endommagée.

1.12 Renseignements sur l'épave et l'impact

Une grande empreinte occupant environ 12 mètres sur 5 mètres et jusqu'à ½ mètre de profondeur constitue le point d'impact. Cette empreinte contenait la plus grande partie du réservoir de carburant axial et, par conséquent, la plus grande partie des matériaux composites de l'avion ont été retrouvés à cet endroit. L'empreinte indiquait que l'avion avait percuté le sol aile gauche en premier et dans un piqué. La vidéo du collimateur de pilotage a confirmé que l'avion était en roulis de 22 degrés sur la gauche et en tangage à moins 14 degrés au moment de l'impact au sol.

L'étendue du tracé laissé par l'épave complète, sans les sièges éjectables, ni l'équipement de survie aérospatial et les fragments de la verrière, couvrait une surface d'environ 200 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur. Ce tracé comprenait trois parties principales : la voilure, le fuselage (avec le moteur) et l'empennage (avec la buse d'éjection). Le fuselage et la voilure ont pris feu après l'impact, mais les pompiers de la 15^{e} Escadre ont réussi à confiner ces incendies.

Certains équipements de bord du CT155 comprenaient des matières dangereuses. L'équipe de récupération de la 15^{e} Escadre avait préparé une liste de ces matières et présenté une liste des problèmes potentiels à l'équipe d'enquêteurs lors de l'exposé initial. Cette liste et les mesures réellement prises sont les suivantes :

Éclairage au tritium gazeux - Danger – gaz radioactif qui, s'il est libéré, prend 30 minutes à se dissiper. Mesure prise – les appareils d'éclairage des sièges avant et arrière étaient complets, toujours dans l'avion, et ils ont été récupérés par l'équipe de récupération pour être éliminés de façon appropriée – 18 mai 2004.

Réservoir de carburant axial - Danger – en fibres de carbone (des fibres de carbone brûlées dégagent des substances toxiques). Mesure prise – fragmentés à l'impact, mais non brûlés, la plupart des restes ont été récupérés par l'équipe de récupération – 18 mai 2004.

Pneus gonflés - Danger – risque de défaillance explosive catastrophique pendant les opérations de récupération. Mesure prise – les trois pneus ont été dégonflés par l'équipe de récupération – 18 mai 2004.

Jambes oléopneumatiques gonflées - Danger – risque de défaillance catastrophique des jambes gonflées. Mesure prise – jambe du train avant

détruite à l'impact et jambes du train principal dégonflées par l'équipe de récupération - 18 mai 2004.

Déclencheurs pyrotechniques d'urgence des volets et du train d'atterrissage - Danger – charge explosive dégageant un gaz qui amorce la sortie d'urgence de ces équipements. Mesure prise – retrouvés par l'équipe de récupération et rangés dans un contenant approprié – 18 mai 2004.

Accumulateurs chargés - Danger – risque de défaillance du contenant sous pression. Mesure prise – dégonflage confirmé par l'équipe de récupération – 18 mai 2004.

Bouteilles d'oxygène - Danger – risque de défaillance des bouteilles (contenants sous pression) et d'alimentation d'un incendie, ou les deux. Mesure prise – vidage confirmé par l'équipe de récupération - 18 mai 2004.

Batteries - Danger – matières corrosives. Mesure prise – les deux batteries ont été entièrement détruites, et leurs plaques ont été éparpillées sur tout le lieu de l'écrasement. Des morceaux ont été récupérés par l'équipe de récupération – 17 et 18 mai 2004.

Charges des sièges et de la verrière - Danger – charges explosives. Mesure prise – toutes les charges ont été rendues sûres par l'équipe des systèmes d'abandon du Centre d'essais techniques en aérospatiale (CETA) – 17 mai 2004.

L'examen initial du moteur sur les lieux a révélé qu'il semblait y avoir un dommage causé par un corps étranger mou au premier étage du compresseur basse pression et que ce dommage s'était probablement produit à régime élevé. La dépose des vannes de prélèvement haute pression sur les lieux a permis de retrouver plus de matières correspondant à des restes d'oiseau.

Les deux sièges éjectables et leur paquetage de survie, de nombreux morceaux de la verrière fracassée, les deux parachutes et tout l'équipement de survie aérospatial ont été retrouvés dans les 400 mètres de prolongement du tracé laissé par l'épave.

1.13 Renseignements médicaux

Le pilote instructeur a été grièvement blessé pendant l'éjection, tandis que l'élève-pilote n'a subi que des blessures légères. Les deux membres d'équipage ont été transportés à l'hôpital Union de Moose Jaw par une ambulance de la 15^{e} Escadre faisant partie des services d'intervention d'urgence. Par la suite, le pilote instructeur a été transféré par les services médicaux d'urgence de l'endroit au Royal University Hospital de Saskatoon. L'élève-pilote a reçu son congé quelques heures après l'accident.

Des échantillons toxicologiques ont été prélevés des membres d'équipage conformément aux consignes par le médecin intervenant à l'hôpital local et

envoyés pour analyse à l'Armed Forces Institute of Pathology (AFIP), à Washington. Les résultats toxicologiques se sont révélés négatifs.

1.14 Incendie, dispositifs pyrotechniques et munitions

1.14.1 Incendie

Il y a eu incendie après l'écrasement touchant l'avion et le champ de ferme environnant, la plus grande partie de l'incendie faisant rage à proximité des ailes et du fuselage. Les zones brûlées couvraient une surface d'environ 100 mètres sur 30 mètres, l'intervention d'urgence de la 15e Escadre ayant permis de confiner l'incendie. Deux gros véhicules de lutte contre les incendies et des extincteurs portatifs ont été utilisés à cette fin. Le carburant de l'incendie suivant l'écrasement provenait surtout du carburant aviation contenu dans les ailes de l'avion.

1.14.2 Dispositifs pyrotechniques (sièges éjectables et composants)

À part les déclencheurs pyrotechniques de sortie d'urgence des volets et du train d'atterrissage, tous les dispositifs pyrotechniques de cet avion sont associés au système d'éjection. L'équipe d'intervention d'urgence de la 15e Escadre émanant de NFTC s'est rendue sur le lieu de l'accident, et le contrôleur sur place (OSCER) lui a demandé « de rendre sûrs et de désarmer les sièges. » Le technicien a inséré des goupilles dans les deux sièges et a retiré les culasses des dispositifs pyrotechniques. Les spécialistes en systèmes d'évacuation du CETA ont terminé le désarmement des sièges trois jours après l'accident.

La verrière du CT155 utilise un cordeau détonant miniature (MDC) qui fragilise la verrière pendant l'éjection. Ce dispositif est un cordeau détonant sous blindage de plomb recouvert d'une couche de plastique dur qui est conçu pour fragiliser la verrière en petits morceaux avant que les sièges soient éjectés de l'avion. Toutefois, ce système projette de très petites particules acérées dans tout le cockpit lorsqu'il explose ainsi que du métal fondu provenant du blindage en plomb.

La détonation du cordeau dans la présente éjection a causé des brûlures à toute partie de la peau exposée des membres d'équipage, et les particules ont pénétré dans les combinaisons de vol et les sous-vêtements, ce qui a causé des brûlures légères à certains endroits recouverts de vêtements.

1.14.3 Munitions

L'avion ne transportait aucune munition.

1.15 Questions relatives à la survie

1.15.1 Séquence d'éjection

Tôt dans la situation d'urgence, le pilote instructeur a ordonné à l'élève-pilote de se préparer à abandonner l'avion. Comme l'avion franchissait environ 800 pi AGL en descente, l'ordre « Eject! Eject! Eject! » a été donné, et le pilote instructeur a amorcé l'éjection à partir du siège arrière. Les deux pilotes ont été éjectés de l'avion et ils se sont posés dans le prolongement du tracé de l'impact de l'avion dans le champ de ferme.

L'analyse de la bande du collimateur de pilotage indique qu'il s'est écoulé environ 49 secondes entre l'impact de l'oiseau et l'éjection. Les paramètres d'éjection étaient 2690 pi MSL (environ 690 pi AGL), 142 KIAS, taux de descente de 2000 pi/min, ailes à l'horizontale et inclinaison en tangage de moins 14 degrés.

1.15.2 Intervention d'urgence

L'écrasement s'est produit à environ 1 mille de l'aérodrome, et la tour en a été témoin. Par conséquent, il n'y a pas eu d'intervention nationale par aéronefs SAR. Les pompiers, l'ambulance et l'équipe de recherche et de sauvetage au sol (GSAR) ont été envoyés immédiatement et ils sont arrivés sur les lieux 3 ou 4 minutes après que les pilotes se sont posés en parachute. Il n'y a eu aucune intervention des services médicaux d'urgence civils parce que les autorités locales n'ont pas été avisées par le service téléphonique d'urgence 911.

Un pilote volant dans la région a entendu le message d'éjection sur la radio, mais il n'a entendu aucune tonalité d'éjection. Après son arrivée sur les lieux de l'écrasement, le service des incendies de la 15e Escadre a commencé par boucler la zone avec l'aide de la police militaire, tandis que les techniciens médicaux de l'ambulance ont commencé à évaluer et à traiter les pilotes accidentés. Le contrôleur sur place est arrivé sur les lieux à peu près au même moment. Un membre de l'équipe GSAR et une infirmière diplômée de l'endroit (la conjointe d'un membre des Forces canadiennes de la base) ont aidé les techniciens médicaux dans leur évaluation et la stabilisation initiale des pilotes blessés. Le médecin de l'escadre est arrivé sur les lieux environ cinq ou dix minutes plus tard, à cause de problèmes de transport de l'équipe d'intervention.

Le pilote instructeur a été immobilisé sur une planche d'immobilisation de la colonne vertébrale, puis chargé à bord de l'ambulance. Comme il souffrait énormément à cause de ses blessures, il a reçu un analgésique par voie intraveineuse. Les deux membres d'équipage ont été transportés au service d'urgence de l'hôpital Union de Moose Jaw. N'ayant pas reçu d'appel 911, l'hôpital local n'était pas prêt à recevoir les membres d'équipage blessés. De plus, il y a eu une légère confusion au sujet de l'entrée de l'urgence, dont le nouvel emplacement récent n'avait pas été communiqué à l'équipe d'intervention d'urgence de la 15e Escadre.

Le chirurgien spécialiste nécessaire n'était pas sur place à Moose Jaw, et il n'y avait aucun lit de libre à Regina; le pilote instructeur a donc été transféré à Sakatoon.

1.16 Essais et recherches

Le moteur a été retiré du lieu de l'écrasement et transporté à la 15e Escadre pour un examen plus poussé. On s'est servi de « lumière noire » pour tenter de mettre en relief la protéine des restes de l'oiseau sur diverses parties du moteur. Des taches ont été retrouvées sur la casserole de l'entrée d'air et des parties des aubes mobiles de premier étage du compresseur. En outre, la sonde T6 présentait des traces de protéine, mais dans un premier temps la sonde d'angle d'attaque en était dépourvue. Il convient de noter que l'huile synthétique était très bien révélée sous cette lumière et était présente à cet endroit.

Les deux bougies d'allumage ont été retirées pour permettre un examen à l'endoscope. Comme cette partie du moteur ne pouvait pas tourner, une zone très limitée seulement a fait l'objet de l'inspection. On a relevé de petits dommages causés par des corps étrangers durs sur le compresseur haute pression. D'autres composants extérieurs ont été démontés du moteur pour examen.

La sonde T6 de température tuyère se trouvant en position 7 heures a été retirée de l'avion et remise à Rolls Royce qui l'a expédiée au R.-U. pour que soit déterminée l'espèce de l'oiseau.

Le moteur a été expédié aux laboratoires du CETQ pour démontage et analyse. Le constructeur d'origine du moteur, Rolls Royce, avait un représentant détaché pour consultation et un représentant du constructeur était sur place au moment du démontage.

1.17 Renseignements sur l'organisation et la gestion

1.17.1 Questions relatives à la faune

SERCO, une des sociétés faisant partie du consortium NFTC, est responsable du contrôle faunique sur l'aérodrome de la 15e Escadre. Lorsque l'ATC estime que les oiseaux constituent une menace, un agent du contrôle de la faune est appelé pour disperser les oiseaux en les effarouchant au moyen d'enregistrements d'appels de détresse ou d'autres tactiques d'effarouchement d'oiseaux.

1.18 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

L'équipe d'enquêteurs a utilisé de la « lumière noire » pour rechercher des traces de restes d'oiseau (et les protéines « révélatrices » après un impact d'oiseau) à l'intérieur des entrées d'air et des composants moteur. La technique a été efficace, mais on ne disposait pas d'une source portative de « lumière noire » sur le terrain. Par conséquent, l'équipe n'a pu effectuer cet examen avant que l'avion soit ramené dans un hangar de la 15e Escadre.

2. ANALYSE

2.1 Généralités

L'enquête a permis de recueillir une grande quantité de renseignements de première main émanant des entrevues avec les deux pilotes survivants. La bande du collimateur de pilotage de l'avion accidenté montre clairement l'oiseau pénétrer dans l'entrée d'air de gauche après le posé-décollé, et elle enregistre les communications des pilotes jusqu'au moment de l'éjection. Les actions des pilotes ne sont pas montrées, mais la bande affiche les paramètres de vol.

2.2 L'aéronef

Les pilotes n'ont décelé aucune indisponibilité sur le CT155202 avant l'accident. Le personnel qualifié avait rempli la documentation technique de l'avion et exécuté le travail de maintenance conformément aux consignes.

2.3 L'impact d'oiseau

La bande du collimateur de pilotage relative à la mission montre un oiseau qui arrive légèrement au-dessus et à la droite du nez de l'avion après l'exécution de la vérification après décollage et l'obtention de la tour d'une autorisation de circuit court. En moins de deux secondes, il passe légèrement à gauche et au-dessous de la verrière alors que l'avion se trouve à 70 pi AGL et qu'il vole à une vitesse de 239 KIAS. L'enquête a permis de découvrir de petits morceaux de restes d'oiseau sur la casserole d'entrée d'air, la sonde T6 et les aubes mobiles du premier étage compresseur. Aussi, une aile d'oiseau a été retrouvée près de l'extrémité de départ de la piste 29R. L'analyse de l'ADN provenant de l'épave ainsi que de l'aile a permis de déterminer que l'oiseau était une mouette de Franklin, oiseau des milieux humides de petite à moyenne taille dont l'envergure est comprise entre 33 et 38 cm et le poids équivaut à environ 280 grammes.

L'examen de la sonde d'angle d'attaque a révélé des dommages par impact. La sonde était pliée, et sa portion cylindrique, écrasée. Un examen plus approfondi des fentes de la girouette sous le microscope a révélé des filaments ressemblant à du duvet semblant provenir des plumes des restes de l'oiseau. Ces filaments ont été retrouvés sous une couche de saleté qui s'était accumulée au cours de l'impact avec le relief.

Le Hawk est propulsé par un turboréacteur double flux Adour Mk 871 équipé d'un compresseur basse pression à deux étages et d'un compresseur haute pression à cinq étages. L'examen du compresseur basse pression a permis de découvrir des dommages d'impact par un corps étranger mou sur jusqu'à quatre aubes mobiles de compresseur, une aube isolée et trois aubes voisines, sur le premier étage compresseur (Photo 1). Rien n'indique qu'une aube mobile de compresseur de premier étage a été endommagée au point que des morceaux se rompent et traversent le moteur.

Après un examen initial sur les lieux de l'écrasement et à la 15e Escadre Moose Jaw, le moteur et divers composants ont été expédiés au CETQ pour inspection plus détaillée et démontage. On a demandé à des représentants de Rolls Royce de participer au démontage du moteur en raison de leurs connaissances spécialisées et parce que de l'équipement spécialisé était nécessaire.

L'analyse du CETQ a déterminé que les quatre aubes mobiles de compresseur endommagées avaient été déformées devant leur plan de rotation, à la position de l'impact d'oiseau d'origine. Cette déformation a été causée par le fait que le compresseur a tenté de déplacer vers l'arrière à travers le compresseur une substance plus lourde que l'air. Sur toute la longueur des quatre aubes mobiles la déformation du profil était supérieure à 50 %. La plus grande partie des restes de l'oiseau est passée dans la gaine de dérivation du moteur après être passée à travers le compresseur basse pression. Le reste des étages compresseur présentait des dommages par un corps étranger dur, probablement causés par l'impact avec le sol du moteur tournant à faible régime. Le CETQ a conclu que les dommages causés aux aubes mobiles du premier étage compresseur ont nui à la production d'un écoulement aérodynamique stable qui était nécessaire, d'abord pour mettre fin au décrochage moteur, puis pour permettre de réussir un redémarrage.

Le Hawk est doté d'un système d'alarme central qui indique les anomalies des systèmes de bord au moyen d'avertissements audio accompagnés de voyants d'alarme ou de voyants lumineux d'un tableau annonciateur, ou les deux. Les voyants du tableau annonciateur sont rouges pour les alarmes et jaunes pour les mises en garde. Les alarmes en rouge sont accompagnées de deux piaulements similaires à ceux d'un oiseau-lyre, suivis par un message vocal prononcé deux fois.

L'avion avait été autorisé en circuit court, et le pilote avait réglé les volets à la position de combat pour la manœuvre lorsque l'oiseau s'est présenté. Les deux membres d'équipage ont entendu un bruit sourd et senti des vibrations, accompagnées d'un changement de la hauteur du son du moteur et d'une perte de poussée. Immédiatement après, plusieurs alarmes audio (tonalité d'oiseau-lyre) et alarmes moteur (T6NL et ECA) se sont manifestées, et des indications de très haute température (660 °C) se sont affichées.

L'alarme « T6NL » se déclenche lorsque le moteur est soumis à des efforts excessifs ou lorsque la température de la turbine à gaz (TGT) est trop élevée. Elle se déclencherait aussi si l'amplificateur de commande de régime moteur (ECA) ne parvenait pas à limiter la température de la turbine à gaz ou la vitesse de rotation de l'arbre du compresseur basse pression (NL).

Le voyant de mise en garde ECA s'allume en cas de défaillance d'un canal de l'ECA, si les limites NL ou TGT sont dépassées ou si NL est supérieur à 88,5 % pour une TGT inférieure à 260 °C.

Les indications qui se sont affichées après l'impact d'oiseau étaient caractéristiques d'un décrochage compresseur.

2.4 Réactions de l'équipage

Les membres d'équipage ont été exposés à une défaillance de moteur dans le pire régime de vol : faible altitude et faible vitesse. Deux tâches devaient être exécutées presque simultanément et sur-le-champ : interpréter l'urgence et décider si l'on demeure à bord de l'avion ou si l'on s'éjecte. En général, décider de demeurer à bord donne plus de temps pour interpréter l'information et tenter de résoudre l'urgence; mais si le rallumage échoue, on a gaspillé de l'altitude pour l'éjection. La décision de s'éjecter est souvent critique, et même un délai de quelques secondes peut faire la différence entre la vie et la mort.

Les pilotes de Hawk volent avec une liste de vérifications mise à leur disposition. Au sein de la Force aérienne, la liste de vérifications s'ajoute aux instructions d'exploitation de l'aéronef (IEA). Les IEA contiennent les détails et les connaissances préalables nécessaires pour se servir de la liste de vérifications. La liste de vérifications du Hawk se divise en quatre sections : procédures d'utilisation normale, performance et limites d'utilisation, procédures d'utilisation en cas d'urgence et urgences non critiques. Les instructions d'utilisation en cas d'urgence contiennent ce qui suit :

URGENCES CRITIQUES

- Conserver la maîtrise de l'aéronef

- Analyser la situation

- Prendre des mesures immédiates

DÉFAILLANCE MOTEUR POSSIBLE

- Monter en flèche SI POSSIBLE, AILES À L'HORIZONTALE

- Manette des gaz POSITION ACTUELLE

- Analyser ENVISAGER L'ÉJECTION

Si l'on décide de demeurer à bord de l'aéronef, prendre les mesures appropriées à l'urgence.

DÉFAILLANCE MÉCANIQUE DU MOTEUR

- Manette des gaz OFF

- Interrupteur pompe à carburant OFF

- Robinet basse pression OFF

- **Ne pas tenter un rallumage**

S'ÉJECTER ou EXÉCUTER UN ATTERRISSAGE FORCÉ

L'équipage, dans ce cas-ci, savait qu'il avait heurté un oiseau, que la puissance avait chuté, qu'il avait perçu des grondements et des vibrations et vu les alarmes du système d'alarme central. Ces symptômes pouvaient suggérer une défaillance mécanique du moteur, et les mesures indiquées ci-dessus auraient pu être prises. Par contre, la liste de vérifications contient aussi la procédure suivante en cas d'alarme relative à un dépassement de limites TGT/NL :

T6NL OU T6NL ET ECA

Noter la TGT, DANS LE CAS DE LA T6NL SEULEMENT,

-Manette des gaz RALENTI

Si T6NL et ECA sont hors limites

- Manette des gaz 80 % ET VÉRIFIER QUE LA TGT EST DANS LES LIMITES

Si la TGT est trop élevée ou non affichée, demeure hors limite ou qu'on soupçonne un pompage,

- Mesure en cas de pompage EXÉCUTER

La TGT est normale

NE PAS DÉPASSER 90 % du régime ou 95 % sous 20 000 PIEDS

Atterrir dès que possible

Comme le système d'alarme central a affiché T6NL et ECA, accompagnés des alarmes audio de T6NL, l'équipage aurait pu suivre la procédure de la liste de vérifications. Le pilote a affirmé qu'il avait ramené la manette des gaz au ralenti après avoir confirmé que la température moteur demeurait élevée. Selon la procédure de la liste de vérifications, on réduisait les gaz seulement après avoir noté la TGT en l'absence d'une mise en garde ECA. TN6L *et* ECA étant affichés, les gaz auraient dû être ramenés à 80 %. Mais même au ralenti, la TGT élevée a persisté. Le réglage à 80 % aurait pu permettre à la TGT de se stabiliser, ou aurait peut-être pu permettre à l'équipage de déterminer s'il restait de la poussée. Selon les IEA, s'il y a de la poussée, le moteur ne pompe pas. Dans cette situation, cette information n'aurait servi à rien puisque l'équipage ne

disposait pas du temps nécessaire pour évaluer s'il y avait de la poussée, et si c'était le cas, si elle était suffisante pour maintenir l'avion en vol.

Le fait que la TGT soit demeurée élevée aurait amené l'équipage à exécuter des mesures en cas de pompage moteur. Ces mesures comprennent trois interventions (y compris la réduction des gaz au ralenti), suivies d'une pause de six secondes pour contrôler la TGT. Si la TGT demeure élevée après six secondes, les mesures en cas de pompage prescrivent une tentative immédiate de rallumage en vol. À faible altitude et à faible vitesse, on ne dispose pas toujours du temps nécessaire pour suivre ces étapes.

Les IEA prescrivent un rallumage immédiat en vol en cas d'extinction moteur. Pour toutes les autres défectuosités de moteur, un rallumage immédiat n'est pas indiqué à moins qu'on ait d'abord exécuté les mesures en cas de pompage et que celles-ci n'aient rien donné.

La section des urgences critiques des IEA précise : [Traduction] « La défectuosité de moteur (surtout à basse altitude) peut laisser très peu de temps au diagnostic et aux mesures correctives, surtout si la cause est un impact d'oiseau ou l'ingestion d'un corps étranger. » Dans certains cas, la réaction appropriée à une perte de poussée consiste à cabrer l'avion et à s'éjecter. Un exposé en cas d'urgence est présenté dans le plan de cours d'instruction au sol de l'entraînement au pilotage de la Phase III, et il doit être communiqué verbalement par le pilote commandant de bord avant le décollage. Cet exposé s'applique au décollage initial et aux décollages subséquents et il doit mentionner les urgences critiques lors de la course au décollage ou peu après le décollage. Un exemple donné pendant le cours est : « En vol, train rentré, moins de 300 kt – maintenir la montée initiale, évaluer l'urgence, confirmer le problème de moteur ou la perte totale d'énergie hydraulique – s'éjecter. » Aucune autre indication relativement à une altitude ou à une vitesse minimales à atteindre avant les tentatives de récupération du moteur n'est donnée aux pilotes de Hawk du NFTC. Compte tenu de la complexité des mesures immédiates requises en cas de défectuosités de moteur, du temps nécessaire à l'exécution de ces procédures et du peu d'expérience des élèves-pilotes, on estime qu'une procédure d'utilisation normalisée mieux définie est nécessaire pour les éjections à basse altitude.

Le pilote instructeur a cabré énergiquement l'avion pour une montée en flèche sous un angle de 24 degrés, ailes à l'horizontale, jusqu'à une hauteur de 1190 pi AGL avant d'amorcer un virage à droite selon une inclinaison atteignant 45 degrés. L'avion a continué à monter dans le virage, atteignant une hauteur maximale de 1610 pi AGL et une vitesse réduite de 123 KIAS. Le commandant de bord a dit à son élève-pilote de se préparer à s'éjecter avant d'atteindre le point culminant de la montée en chandelle. Il avait décidé qu'ils s'éjecteraient à ce moment une fois ce point atteint. Il a déclaré aux enquêteurs qu'il avait déjà subi un impact d'oiseau auparavant, lequel avait causé la défaillance d'un moteur de CF-18, et pour lequel les indications avaient été identiques aux vibrations et au bruit qui ont suivi le présent incident. Le pilote instructeur ne s'attendait pas à

réussir à rallumer le moteur en vol, mais il a cru avoir demandé à l'élève-pilote de tenter un rallumage pendant le court laps de temps gagné à effectuer la montée en chandelle.

On avait dit à l'élève-pilote de se préparer à s'éjecter et il avait posé sa liste de vérifications sur l'auvent pour se préparer. La procédure d'utilisation normalisée en vigueur dans la force aérienne où l'élève-pilote avait piloté le Hawk pour la première fois indiquait qu'il fallait s'éjecter en cas de défaillance moteur si la vitesse était inférieure à 330 KIAS à basse altitude. En ce qui a trait à un atterrissage d'urgence avec moteur en panne, les IEA canadiennes précisent : [Traduction] « il est possible de réussir un demi-tour à partir d'une vitesse d'environ 330 KIAS et d'une hauteur de 1000 pi AGL si la manœuvre est exécutée promptement et correctement. » Comme on l'a dit précédemment, l'impact d'oiseau s'est produit à 70 pi AGL lorsque l'avion volait à une vitesse de 239 KIAS.

Plusieurs anomalies ont été relevées lorsqu'on a demandé à différents utilisateurs au sein du milieu des CT155 quel était le comportement idéal attendu en cas de défectuosité moteur à faible altitude et à faible vitesse (moins de 300 KIAS). Plusieurs des réponses faites laissent croire qu'il existe peut-être une lacune dans les normes et l'entraînement.

Une certaine terminologie/phraséologie utilisée pendant l'urgence n'a pas été comprise au sein de l'équipage. Même si la langue des deux membres d'équipage était l'anglais, des différences culturelles ont donné lieu à un manque de communication précise en temps opportun entre les membres d'équipage lors d'une situation critique.

Le pilote instructeur croyait qu'il avait ordonné à l'élève-pilote d'exécuter un rallumage immédiat, mais l'enquête a révélé que la terminologie utilisée par le pilote instructeur n'a pas décrit clairement ce qu'il voulait. Alors qu'il croyait avoir ordonné à l'élève-pilote d'exécuter un rallumage immédiat, il a en fait utilisé la terminologie propre à un rallumage de CT-114 Tutor. Les Forces canadiennes ont utilisé le Tutor comme avion-école pour l'entraînement de base et avancé sur avion à réaction pendant plus de 30 ans, et le pilote instructeur s'était entraîné et avait donné de l'instruction sur cet appareil. Alors qu'il voulait que l'élève-pilote ramène la manette des gaz sur OFF, conformément à la procédure de rallumage immédiat, cette action ne s'est pas produite. Les deux pilotes croyaient que cette responsabilité incombait à l'autre. L'élève-pilote a déclaré plus tard qu'il avait été dérouté par certains commentaires du pilote instructeur, surtout par l'expression « go around the horn »(contourne le cran). (Cette expression signifie ramener la manette des gaz du Tutor vers l'extérieur sur la position de coupure.) L'élève-pilote a supposé que le pilote instructeur avait tenté un rallumage immédiat, alors lorsqu'il a entendu l'instruction de tenter un démarrage à partir de l'avant, il s'est rendu compte qu'il n'avait pas suffisamment de temps ni de vitesse (165 à 250 KIAS) pour exécuter une procédure de rallumage assisté.

Malgré une certaine confusion entre les membres d'équipage, celle-ci n'a pas été la cause de l'accident puisqu'il n'y avait pas suffisamment de temps pour exécuter un rallumage. Il est intéressant de noter que si la manette des gaz avait été réglée sur OFF, la génératrice c.c. aurait été coupée, et la vidéo du collimateur de pilotage aurait cessé de fonctionner. Les conséquences que cette situation aurait eues pour l'enquête, surtout si les pilotes n'avaient pas survécu à l'éjection, justifient la nécessité de disposer d'un CVR/FDR à bord de cet avion.

2.5 La technique de montée en chandelle

Les IEA et le manuel d'entraînement au pilotage ne donnent pas un angle de montée en chandelle ni une technique d'accélération optimaux pour échanger le plus efficacement possible de la vitesse pour de l'altitude. Ils fournissent par contre une vitesse de plané optimale à 5,5 unités d'angle d'attaque en configuration lisse, soit environ 185 à 190 KIAS, qui offre un maximum de portance par rapport à la traînée. Le pilote dans ce cas-ci a cabré rapidement le nez de l'avion à 24 degrés. À la suite de ce cabré énergique, l'avion a rapidement décéléré à moins de 190 KIAS pendant la montée en chandelle, et sa vitesse a diminué à 123 KIAS. Dans cet incident, on estime que l'oiseau a endommagé le système de détection d'angle d'attaque. La lecture de l'angle d'attaque s'arrête sur la bande du collimateur de pilotage au moment précis où l'oiseau disparaît de la vue. La sonde d'angle d'attaque elle-même était endommagée. Par conséquent, le pilote instructeur ne disposait pas de l'indicateur d'angle d'attaque pour déterminer l'angle optimal et il devait s'en remettre à la vitesse indiquée

Plusieurs comparaisons de montée en chandelle angulaire et de temps d'atteinte du point culminant ont été effectuées dans l'entraîneur de vol (simulateur de vol) pour permettre d'évaluer l'efficacité du profil de la montée en chandelle de l'avion. Les résultats devraient être assez représentatifs du comportement de l'avion réel. Les profils à angle supérieur, soit un cabré supérieur à 15 degrés, étaient victimes de l'effet « montagnes russes », en ce que l'avion décélérait à moins de 190 KIAS avant que le pilote ne puisse établir l'assiette de plané à 190 KIAS. Cette situation est partiellement attribuable à la nécessité d'anticiper la vitesse de 190 KIAS en poussant sur le manche pour établir l'assiette de plané avant d'atteindre la vitesse de plané. En comparaison, le taux de descente à 190 KIAS et 5,5 unités d'angle d'attaque correspond à peu près à 1100 pi/min (configuration de base de l'avion), tandis que le taux de descente d'environ 140 KIAS lors de l'accident correspondait à 2000 pi/min. Les données de l'entraîneur de vol ont montré qu'une montée en chandelle moins énergique se traduit par un point culminant moins élevé, mais qu'elle offre plus de temps avant d'atteindre ce point et présente moins de danger d'atteindre un taux de descente supérieur à la vitesse de plané optimale une fois le point culminant atteint. Les IEA précisent : [Traduction] « lorsque les circonstances le permettent, une montée en chandelle facilite l'évacuation de l'avion. » Dans toutes les éjections, il est préférable de disposer de hauteur plutôt que d'une vitesse de descente. Par conséquent, une montée en chandelle moins agressive se terminant à un point

culminant moins élevé donne plus de temps avant que ne s'amorce le taux de descente.

Dans un premier temps, le pilote instructeur a exécuté un cabré ailes à l'horizontale, mais il a ensuite amorcé un virage serré alors qu'il approchait du point culminant, sacrifiant de l'altitude en utilisant le vecteur portance pour faire virer l'avion. Ses déclarations ont plus tard révélé qu'il ne s'était pas rendu compte de l'ampleur de son virage. Il a ajouté qu'il n'avait pas consciemment amorcé le virage en vue de faire demi-tour, mais qu'il a pu inconsciemment être en train d'exécuter la prochaine étape de la procédure à laquelle il avait été autorisé, soit le circuit court à droite.

2.6 Facteurs latents

La manette des gaz du siège avant du CT155 Hawk possède une tirette verticale de position IDLE/OFF, située à la base de la manette. Le fait de soulever cette tirette efface la butée de ralenti et permet à la manette de se déplacer du ralenti à la position de coupure. La place arrière est aménagée de façon similaire, mais la tirette verticale de position IDLE/OFF est plus longue, ce qui procure un gain mécanique. Elle est reliée par un câble de commande Teleflex à la butée de ralenti de la place avant. Au moment de l'accident, couper le moteur de l'avion en réglant la manette des gaz de la place arrière sur la position de coupure appelait une action de maintenance visant à inspecter le câble. Voilà pourquoi les pilotes étaient peu portés à utiliser la manette des gaz de la place arrière pour faire les arrêts complets de moteur. Il n'y a pas de place arrière dans l'entraîneur de vol, ce qui fait que les pilotes ne sont pas exposés aux différentes configurations de tirette verticale lors de leurs sessions en simulateur. Ces facteurs peuvent avoir amené l'instructeur à se sentir moins familier avec les mesures exécutées depuis le siège arrière pour le rallumage immédiat et plus disposé à déléguer cette tâche au pilote assis en place avant.

2.7 Analyse de la séquence d'éjection

Le pilote instructeur a été grièvement blessé pendant l'éjection et sa réception subséquente en parachute au sol. L'élève-pilote n'a subi que des blessures légères. Toutes les blessures peuvent être attribuées à la séquence d'éjection, à la réception en parachute et à l'équipement ainsi qu'aux systèmes connexes.

2.7.1 Fonctionnement des sièges éjectables

Éjection du siège arrière : Après avoir averti le pilote assis en place avant, le pilote instructeur a déclenché l'éjection. Le système de fragilisation de la verrière est entré en action, et le siège a été éjecté hors de l'avion. L'analyse qui a suivi l'écrasement a permis de déceler une légère entrave entre l'avion et la poche inférieure gauche de la combinaison anti-G du pilote. Une fois le siège expulsé hors de l'avion, le parachute s'est ouvert pour permettre au pilote de descendre sous voilure déployée pendant environ 30 secondes

Éjection du siège avant : L'éjection du siège avant a été commandée depuis le siège arrière de l'avion. L'élève-pilote s'est appuyé fortement contre le dossier du siège et il a saisi la poignée de déclenchement du siège, mais sans la tirer. Le cordeau détonant miniature du système de fragilisation de la verrière a été mis à feu dans le cockpit, projetant sur le membre d'équipage du métal fondu, des morceaux de gaine de cordeau et des fragments de verrière. Le siège a été éjecté de l'avion sans aucune entrave avec le cockpit. Le parachute s'est déployé, et l'élève-pilote est descendu sous voilure déployée.

Blessures à l'éjection : Les deux pilotes ont subi des brûlures causées par le métal fondu du cordeau détonant pendant l'éjection. Le pilote instructeur a subi des blessures pendant la phase de catapultage de l'éjection. Il a déclaré par la suite avoir regardé vers le bas pour voir la poignée de déclenchement du siège avant de la tirer et s'est souvenu du fait que le manche pilote se trouvait bien poussé vers l'avant. Ces deux facteurs laissent croire qu'il avait la tête baissée et qu'il avait le dos légèrement voûté au moment où le siège a été catapulté. Il a immédiatement ressenti une vive douleur pendant que le siège se déplaçait sur ses rails. Après l'ouverture du parachute, il a tenté de soulager la pression et la douleur pendant la descente en se soulevant au moyen des élévateurs. Cette manœuvre a eu pour effet de faire faire un tour complet à son parachute pendant la descente et d'augmenter légèrement sa vitesse de descente. Aucune tentative n'a été faite de déployer le paquetage de survie du parachute. Il a également subi de graves blessures à la réception au sol. Le paquetage de survie non déployé et la vitesse de descente élevée ont contribué aux blessures subies lors de sa réception au sol. Sur la foi des blessures subies au cours de la séquence d'éjection, cette éjection est classée « non réussie/permettant la survie ». L'élève-pilote a été en mesure de déployer son paquetage de survie avant de toucher le sol, même s'il a dû s'y prendre à trois reprises. Il a subi des blessures légères à la suite de la séquence d'éjection. Son éjection a été classée « réussie ».

Déploiement automatique du paquetage de survie : Certaines variantes du Hawk utilisent un dispositif qui déploie le paquetage de survie même si le pilote est blessé ou frappé d'incapacité. (Module de déploiement automatique Martin-Baker.) Dans le présent accident, un tel dispositif aurait peut-être permis de réduire les blessures du pilote à la réception. Une préoccupation liée à ce module est que son installation ajouterait du poids au siège, ce qu'il faudrait compenser en réduisant le poids du paquetage ou le poids maximum du pilote.

Fonctionnement du module de rappel assisté du harnais (HPRU) : Ce module est conçu pour plaquer l'occupant sur son siège au cas où il n'aurait pas adopté une bonne posture préalablement au déclenchement de l'éjection. Le HPRU est actionné par les gaz chauds libérés par la charge déclenchée au moyen de la poignée d'éjection, et son entrée en action se fait immédiatement après qu'on a tiré cette poignée. Les données de qualification du HPRU fournies par le constructeur d'origine indiquent que le HPRU doit effectuer un rappel complet en 0,20 seconde après qu'il a été actionné. Les gaz chauds qui actionnent le HPRU actionnent aussi la catapulte, laquelle fait remonter le siège sur ses rails. Parce

que les gaz d'une même source actionnent le HPRU et la catapulte, le fonctionnement de ces derniers est presque simultané pour l'occupant du siège arrière. Dans une éjection commandée, l'actionnement de la catapulte du siège avant est temporisé de 0,3 seconde afin d'éviter que les deux sièges soient éjectés exactement au même moment. Le siège remonte sur ses rails en moins de 0,15 seconde, soit moins de temps qu'il n'en faut au HPRU pour rappeler l'occupant sur son siège. Dans le cas qui nous occupe, l'occupant était légèrement incliné vers l'avant au moment du déclenchement de l'éjection et il a alors subi des blessures en conséquence. On estime que le HPRU n'a pas permis à l'occupant d'adopter la bonne posture avant que ne s'exercent les forces déployées par la catapulte. Toutefois, pour assurer que le HPRU joue son rôle avant que ne s'appliquent les forces déployées par la catapulte, il serait nécessaire de temporiser le fonctionnement de la catapulte d'environ 0,2 seconde par rapport au départ du siège. Cette temporisation nuirait au fonctionnement général du système d'évacuation dans des conditions difficiles.

2.7.2 Rangement des publications dans la combinaison anti-G

Il n'y a pas d'espace de rangement pratique pour les publications à bord du CT155. Ce problème a été documenté dans le rapport 00/15 du CETA du 25 juillet 2001. Cette situation force les membres d'équipage à ranger les publications nécessaires au vol dans les poches inférieures des jambes de leur combinaison anti-G. Les profilés étroits du gouvernail de direction du Hawk rendent difficiles l'utilisation des poches inférieures des jambes de la combinaison anti-G. Le rapport du CETA recommandait de déterminer le nombre minimal de publications à emporter et de fournir un espace de rangement pour celles-ci. Aucune solution n'a encore été trouvée pour le CT155. Dans le cas qui nous occupe, le pilote instructeur transportait des publications dans les poches de sa combinaison anti-G, et la poche inférieure gauche de sa combinaison a été déchirée lors de l'éjection.

2.7.3 Poids des membres d'équipage

Les IEA du CT155 précisent que le poids maximal d'un membre d'équipage « tout équipé » ne doit pas dépasser 239,0 livres. Ce poids comprend le casque, le masque, les bottes, les vêtements, le gilet de sauvetage et les publications. Sur la foi de l'équipement pesé pendant l'enquête sur les lieux, et de données des dossiers médicaux, on évalue que le pilote instructeur pesait 249 +5/-0 lb tout équipé, ce qui correspond à au moins 10 lb de plus que le poids maximal tout équipé préconisé par le constructeur d'origine, selon les IEA. Les IEA contiennent l'avertissement suivant :

[Traduction]
« Les risques de blessure augmentent dans certaines conditions d'éjection, notamment si le poids du membre d'équipage se situe à l'extérieur de limites certifiées. »

Bombardier a demandé à Martin-Baker, lequel a accepté, d'établir un programme d'augmentation de la plage de poids tout équipé, qui en est maintenant à ses débuts.

2.7.4 Vitesse de descente du parachute GQ1000

Le parachute aéroconique GQ1000 de 17 pieds de diamètre utilisé à bord du CT155 Hawk présente certains antécédents relativement à des vitesses de descente élevées et aux blessures subséquentes à la réception qui correspondent aux graves blessures subies par le pilote instructeur. Le GQ1000 est fiable et il s'ouvre rapidement, mais ses caractéristiques engendrent des vitesses totales élevées lorsqu'il est utilisé près du poids maximal sous voilure. Il convient de noter que le poids maximal sous voilure du parachute CQ1000 dans le CF188 Hornet est de 300 lb; le poids du membre d'équipage blessé se situait bien au-dessous de ce poids (poids sous voilure estimé à 284 +5/-0 lb). Le poids des membres d'équipage était dans les limites du poids sous voilure déterminé par la DSTNA pour le GQ1000, malgré le fait que le pilote instructeur pesait 10 lb de plus que le poids tout équipé pour le CT155 Hawk. Lorsque le parachute du pilote instructeur a été récupéré, les cabillots étaient toujours dans leur position de rangement. Cette constatation signifie qu'il n'avait pas dirigé le parachute au moyen des cabillots; par conséquent, il est impossible d'estimer l'effet du vent sur la vitesse sol à la réception. Le pilote instructeur a déclaré qu'il ne pouvait voir ni trouver les cabillots. Ses déclarations indiquent qu'il a tenté de manœuvrer le parachute et de soulager la tension s'exerçant sur son dos en tirant sur l'élévateur de droite. Sur la foi des données fournies par le fabricant d'origine, sa vitesse de descente et sa vitesse totale par vent nul ont été estimées à 26 pieds par seconde (pi/s) et 36 pi/s respectivement, soit au-delà des limites de 24 et de 30 pi/s indiquées dans la norme MIL-S-18471F(AS), General Specification for System, Aircrew Automated Escape, Ejection Type, 1 May 74 (norme générale de système d'évacuation automatisé de membre d'équipage, de type éjection, 1er mai 1974).

2.7.5 Questions relatives au harnais combiné simplifié (HCS)

Le CT155 Hawk utilise un harnais combiné simplifié Gen 2, conçu pour être le harnais de siège pour des opérations normales et le harnais du parachute lorsque le membre d'équipage utilise le système d'éjection. La suspension du HCS Gen 2 crée un vide triangulaire au-dessus des épaules du membre d'équipage, le même vide que pour le HCS Gen 1, lorsque le harnais est utilisé avec le parachute. Ce vide est créé après la séparation pilote-siège de la séquence d'éjection, et on a déterminé que le système de suspension peut engendrer des forces mortelles au niveau de la tête et de la nuque lors des éjection à hautes vitesses (comme dans le cas du CF188732), un phénomène connu sous le nom de « claquement des élévateurs ». Le parachute aéroconique GQ1000 est connu pour se déployer rapidement; toutefois, ce déploiement rapide induit des charges élevées à l'ouverture. Le pilote instructeur a remarqué le vide triangulaire et a tenté de s'en servir pour soulager sa douleur en tirant sur le harnais afin de réduire son poids sur les points de pression du harnais. Le vide

se trouvait à quatre ou cinq pouces de ses épaules. Si une bonne procédure de sanglage est suivie, ce vide n'est seulement que d'un à trois pouces. La procédure de sanglage est une opération en 15 étapes qui figure dans les IEA. Les IEA contiennent un avertissement indiquant : [Traduction] « Pour réduire au minimum les risques de blessure au cours de l'éjection, il est essentiel que le sanglage soit effectué correctement et méticuleusement comme il est décrit. »

Malgré la faible vitesse d'éjection, certains éléments de son équipement de survie et de ses blessures indiquent qu'il y a eu interaction entre le HCS et la nuque et le casque du pilote instructeur. Son gilet de sauvetage portait des signes de contact avec le harnais et il était légèrement endommagé. Aussi, une sangle élastique transversale était brisée sur son HCS, du côté gauche.

L'autorité de navigabilité opérationnelle (ANO) du CT155 Hawk a effectué une évaluation du risque au sujet de ce danger. (Dossier de l'évaluation du risque, rév. 2, 13 mai 2004, - A1 Instruction.) Ce dossier de la gestion du risque en matière de navigabilité a permis de déterminer qu'il existait un risque moyen, mais si l'on en tient compte dans les taux d'éjection prédits, ce risque diminuait à faible.

2.7.6 Autres dommages à l'équipement de survie

Les deux casques et les visières présentaient des piqûres, des égratignures et des dépôts de résidus (Photo 2). En outre, la protection contre l'effet de souffle d'un des gilets de sauvetage Beaufort Mk30LC avait été percée, ce qui rendait inutilisable la vessie de flottaison rangée dans l'enveloppe extérieure. Il y avait plusieurs trous dans le lobe droit, et un seul dans le lobe gauche, ce qui laissait s'échapper l'air à un rythme nécessitant un regonflage manuel constant pour que le gilet puisse conserver ses caractéristiques de flottaison. Un examen préliminaire, effectué par RDDC Toronto et les Systèmes d'évacuation du CETA a révélé la présence de deux grosses pénétrations (une de chaque côté) du revêtement protecteur du gilet de sauvetage (enveloppe extérieure). Le CETQ a été chargé d'identifier la cause du dommage. L'enveloppe extérieure est fabriquée de trois couches de tissu repliées et tenues fermées par une fermeture à glissière et des attaches de type Velcro. La vessie est située à l'intérieur du tissu et protégée de tous les côtés par celui-ci. Bien qu'une grande quantité de projections du cordeau détonant ait atteint la couche extérieure de l'enveloppe du gilet de sauvetage (sur les lobes de gauche et de droite), la couche mitoyenne ou deuxième couche de tissu semblait avoir arrêté la progression des projections. On considère qu'il est probable que des objets pointus, comme ceux générés par la fragilisation de la verrière au cours de l'éjection, avaient percé la vessie du gilet de sauvetage. Le CETQ a déterminé que la conception de l'enveloppe extérieure permettait de protéger la vessie du gilet des projections de cordeau détonant; toutefois, l'enveloppe extérieure ne pouvait protéger la vessie du gilet de projectiles pointus comme ceux produits par la fragilisation de la verrière au cours de l'éjection. Ajouter plus de couches protectrices à l'enveloppe extérieure n'est pas réaliste, car le gilet deviendrait trop encombrant et il limiterait les mouvements des utilisateurs. Aussi, un petit fragment de verrière (environ de

la taille d'une punaise) a été retrouvé dans le masque à oxygène d'un des pilotes. Ce fragment était probablement la cause d'une coupure au visage de ce membre d'équipage. Cette blessure s'est produite malgré le fait qu'une visière de ce membre d'équipage était abaissée.

BMAT se sert d'un système électronique de tenue des dossiers pour consigner toute la maintenance exécutée sur les avions, les pièces d'avion et l'équipement de survie NFTC. Les dossiers de l'équipement de survie de l'élève-pilote étaient incomplets, en ce que rien n'indiquait que de l'équipement lui avait été attribué. Par conséquent, l'équipe d'enquêteurs n'a pas été en mesure d'analyser les antécédents de maintenance de l'équipement de survie attribué à l'élève-pilote.

2.7.7 Fonctionnement de la radiobalise individuelle de repérage

L'émission de la radiobalise individuelle de repérage et les fonctions de la radio de secours utilisées dans le CT155 Hawk sont conçues pour être communiquées par un dispositif monté sur le paquetage de survie (radio et son antenne), déclenché par la séparation du membre d'équipage de son siège. Malgré la séparation réussie des deux pilotes, il semble que les radiobalises n'aient pas bien fonctionné. L'IFRCC a entendu et enregistré la tonalité d'une radiobalise pendant environ deux secondes immédiatement après l'éjection, signal qui a été capté par le SARSAT environ deux heures plus tard. Le CT155 Hawk ne dispose pas de la fonction tonalité d'éjection à bord et il dépend exclusivement du fonctionnement des radiobalises individuelles de repérage. On croit que l'enveloppe en composites du paquetage de survie fait écran à l'antenne du paquetage et en atténue le signal. Les instructions du fabricant indiquent clairement que l'antenne doit être déployée pour permettre à la radiobalise de fonctionner correctement. Le manuel d'utilisation de la radiobalise précise : [Traduction] *« pour assurer la meilleure diffusion du signal de détresse, il est nécessaire de déployer l'antenne en la dépliant de 180 degrés en position relevée, puis en déployant la partie télescopique. »* La radiobalise n'est pas rangée dans le paquetage de survie antenne déployée, car son antenne est plutôt en position rangée. Par conséquent, le signal ne pouvait être reçu avec suffisamment de force à moins que le membre d'équipage n'ait déployé l'antenne une fois arrivé au sol.

Sans être un facteur dans l'accident, la nécessité de déployer manuellement l'antenne pour assurer que le signal de la radiobalise est suffisamment fort pourrait compromettre un sauvetage et une intervention médicale en temps opportun, surtout si le membre d'équipage est blessé ou invalide.

2.8 Programme de contrôle de la faune

La 15^{e} Escadre a en place un programme de contrôle des oiseaux et des animaux qui est assuré par contrat par l'intermédiaire de Bombardier Industries. Un agent de contrôle de la faune patrouille régulièrement l'aérodrome pour localiser et éloigner tout animal nuisible. Le plan de contrôle de la faune est complet et il semble aborder tous les aspects raisonnables du contrôle des

oiseaux et des autres animaux dans les limites de l'aéroport, mais sa portée ne couvre que l'aérodrome. Moose Jaw a signalé 22 impacts d'oiseau locaux en 2002, 39 en 2003 et 21 en 2004. Les résultats de ces impacts allaient de l'absence de dommages à la perte de l'aéronef dans le cas qui nous occupe. Les tactiques d'effarouchement des oiseaux utilisées à la 15e Escadre semblent inefficaces contre les mouettes, puisqu'elles ne semblent qu'attirer leur curiosité et les faire tourner autour de la zone. Les mouettes qui se tiennent sur l'aérodrome constituent le plus grand risque aviaire pour la 15e Escadre. On croit que leur habitat se trouve à 17 nm au sud-ouest de l'aérodrome (secteur du lac Old Wives). Ces oiseaux se déplacent régulièrement, en traversant l'aérodrome, vers un site d'enfouissement situé au nord-est de la ville de Moose Jaw.

Une analyse des registres de la tour sur les quatre dernières années a révélé que pendant la période comprise entre août et octobre, l'aérodrome était fortement achalandé par les oiseaux pour une moyenne de 5 heures et 42 minutes par mois. Mener d'autres études dans le voisinage de l'aérodrome de Moose Jaw pour mieux comprendre le risque aviaire aiderait à raffiner le plan de réduction des risques aviaires. La 15e Escadre et la 1re Division aérienne du Canada ont présenté une demande d'enquête sur la faune à cette fin.

2.9 Récupération initiale de l'épave

2.9.1 Neutralisation des sièges

Au cours de la réaction de la 15e Escadre après l'accident, l'équipe d'intervention d'urgence de NFTC s'est rendue sur le lieu de l'accident et s'est fait demander par le contrôleur sur place de « rendre sûrs et de désarmer les sièges ». Les techniciens de l'équipe d'intervention responsables des systèmes d'évacuation sont retournés chercher leurs outils et un contenant pour dispositifs pyrotechniques. Ils ont ensuite goupillé les sièges et commencé à retirer les culasses de la plupart des dispositifs pyrotechniques des sièges. Les techniciens ont remarqué qu'une forte pression s'exerçait sur les mécanismes de culasse et de mise à feu et que, dans certains cas, ceux-ci se déclenchaient.

La pression résiduelle dans les conduites et les culasses peut présenter un grave danger pour le personnel, surtout pour ceux qui ne sont pas spécifiquement entraînés à faire face à ce danger. De plus, le gaz expulsé de ces cartouches est caustique, et il faut alors porter un respirateur en tout temps. Les techniciens n'étaient pas au courant de ces dangers et ils ne portaient pas l'équipement de protection individuelle approprié pendant les opérations de désarmement.

Le personnel des systèmes d'évacuation de l'équipe d'intervention du CETA n'était pas au courant des mesures prises par le personnel de récupération de l'épave, et il n'a pas su ce qui avait été fait avant que les opérations de désarmement ne soient entreprises trois jours après l'accident. Ce personnel n'a pas demandé, ni n'a reçu, une copie du registre des activités du contrôleur sur place, ni n'a reçu un exposé sur l'état des composants du système d'évacuation.

Le personnel des systèmes d'évacuation du CETA croyait que le système d'évacuation du CT155 Hawk était suffisamment semblable au système du CF188 Hornet qu'il n'était pas nécessaire de recevoir de formation spécialisée sur les avions NFTC. Toutefois, lors des activités qui ont suivi l'accident, ce personnel a eu besoin de l'aide du personnel NFTC, car il ne connaissait pas suffisamment le système d'éjection du Hawk.

Bien qu'il n'y ait eu aucune préoccupation relative à la sécurité pendant le désarmement des dispositifs pyrotechniques, les sous-systèmes du CT155 Hawk ont nécessité plus de temps et d'assistance.

2.9.2 Prélèvement d'échantillons de liquide

Au cours de l'intervention d'urgence, parce que Bombardier fait appel de façon contractuelle aux laboratoires du Conseil de recherches de l'Alberta (ARC) pour des essais de routine par l'intermédiaire de la 15^{e} Escadre, des échantillons de carburant et de liquides ont été prélevés et expédiés au Conseil pour analyse. Le CETQ est la principale autorité pour l'analyse des enquêtes techniques des Forces canadiennes. L'examen normal des liquides après un accident est effectué par le CETQ qui procède à tous les essais particuliers nécessaires pour un tel accident. Par conséquent, la section CETQ 3-4 des produits pétroliers a dû entrer en communication avec un représentant du Conseil de recherches de l'Alberta afin de coordonner les essais nécessaires à effectuer sur les liquides. Pour une analyse liée à l'aviation, on ne fait appel à des laboratoires extérieurs aux FC seulement avec l'autorisation de la DSV pour assurer que le CETQ assure la coordination avec l'organisme et que toutes les exigences d'essai sont satisfaites.

2.10 Mesures de sécurité relatives au cordeau détonant miniature

La verrière du CT155 Hawk est fragilisée par un cordeau détonant miniature pendant l'éjection, l'aide au sauvetage au sol ou pour une évacuation d'urgence. Le cordeau détonant miniature n'a jamais été utilisé sur une verrière au Canada avant l'acquisition des avions CT155 Hawk et CT156 Harvard II. Le présent événement est le premier cas de perte d'aéronef au Canada dans lequel un cordeau détonant miniature a été utilisé pour fragiliser la verrière. Plusieurs préoccupations liées à la sécurité sont associées à ce système de fragilisation. Les IEA du CT155 Hawk indiquent clairement :

[Traduction]
« Pour éviter d'être blessés par le cordeau détonant miniature, tant le personnel au sol que le personnel navigant doivent prendre les précautions suivantes :

a. avertir le personnel au sol de s'abriter sous l'aile lorsque la verrière est sur le point d'être fermée;
b. confirmer avec le pilote dans l'autre cockpit que la verrière et le cordeau détonant miniature sont exempts d'obstructions;

c. s’assurer que les deux pilotes ont baissé leur visière et que leurs yeux sont bien fermés avant de fermer et de verrouiller la verrière. »

Des observations effectuées en piste ont indiqué que plusieurs membres du personnel au sol et du personnel navigant ne prennent pas ces précautions pendant les opérations avec les CT155 Hawk. On estime que les dangers posés par le cordeau détonant miniature sont mal évalués et mal compris.

Deux épaisseurs de vêtements réduisent aussi les lésions cutanées causées par les projections du cordeau détonant miniature. Les Ordonnances de la 1 DAC précisent que : « Le personnel participant aux opérations de vol doit respecter le principe de la double épaisseur de vêtements à des fins de protection contre le feu. Les commandants d’escadre et d’unité doivent promulguer une ou des consignes sur le port de deux épaisseurs de vêtements, tout en tenant judicieusement compte du stress dû à la chaleur selon l’environnement de l’endroit et les conditions climatiques. »

Un pilote ne portait pas deux épaisseurs de vêtements (sous-vêtements longs). Les manches de sa combinaison de vol étaient partiellement retroussées sur ses avant-bras, et les manchettes de ses gants de vol étaient rabattues vers l’avant, exposant la peau de ses avant-bras et de ses poignets. Les gants étaient extrêmement usés, étaient portés sans doublure, et l’extrémité des doigts du gant de droite était coupée. Dans cet événement, ces lacunes ont contribué aux brûlures associées à l’utilisation du cordeau détonant miniature.

3. CONCLUSIONS

3.1 Faits établis

3.1.1. L'avion CT155202 était en bon état de service au moment de l'impact d'oiseau. (2.2)

3.1.2. L'équipage était qualifié et ses compétences étaient à jour pour l'exécution de la mission. (1.5)

3.1.3 Le pilote aux commandes était le pilote instructeur assis en place arrière. (1.1)

3.1.4 L'avion avait été autorisé à effectuer un circuit court à la suite d'un posé-décollé lorsqu'il a heurté un oiseau au bout de l'extrémité de départ de la piste. (2.3)

3.1.5. L'oiseau a heurté la sonde d'angle d'attaque, puis s'est désagrégé en de nombreux morceaux qui sont passés dans l'entrée d'air de gauche du moteur pour être ingérés par ce dernier, ce qui a causé de graves dommages par corps étrangers. (2.3)

3.1.6. L'impact d'oiseau a été immédiatement suivi d'une perte de poussée, accompagnée des alarmes T6NL et ECA, d'indications de température élevée du moteur et de vibrations. (2.3)

3.1.7. Le pilote instructeur a d'abord fait monter l'avion en chandelle les ailes à l'horizontale et a avisé l'élève-pilote de se préparer à abandonner l'avion. (2.4)

3.1.8 L'avion n'avait pas suffisamment de vitesse ou d'altitude pour réussir à faire demi-tour. (2.4)

3.1.9. Approchant du point culminant de la montée en chandelle, l'avion a viré à droite sur environ 150 degrés au moment où la vitesse diminuait à 123 KIAS. (2.4)

3.1.10. Il n'y a aucun paramètre minimum recommandé (vitesse et altitude) à atteindre pour diagnostiquer un moteur à basse altitude en toute sécurité et prendre des mesures de rétablissement. (2.4)

3.1.11. À cause d'une confusion dans la communication de l'intention du pilote instructeur, il n'y a eu aucune tentative de rallumage immédiat. (2.4)

3.1.12. Le pilote instructeur a averti l’élève-pilote de l’imminence de l’éjection et a commandé l’éjection des deux sièges 49 secondes après l’impact d’oiseau. (2.7.1)

3.1.13. Les éjections se sont déroulées dans le domaine d’éjection réglementaire. (1.15.1)

3.1.14. L’élève-pilote a été légèrement blessé pendant l’éjection. (2.7.1)

3.1.15. La posture du pilote instructeur n’était pas optimale au moment du déclenchement de l’éjection. Le module de rappel assisté du harnais n’a pas plaqué le pilote instructeur dans la posture appropriée avant que les forces de catapultage ne s’exercent. (2.7.1)

3.1.16. Le pilote instructeur a été grièvement blessé pendant l’éjection et il a subi de graves blessures au moment de sa réception au sol. (2.7.1)

3.1.17 Le non-déploiement du paquetage de survie et la vitesse de descente élevée ont contribué à la gravité des blessures subies par le pilote instructeur au moment de sa réception au sol. (2.7.1)

3.1.18. Le pilote instructeur pesait environ 10 lb de plus que le poids maximal du pilote tout équipé, précisé par le fabricant d’origine. (2.7.3)

3.1.19. L’avion a été détruit lors de son écrasement au sol. (1.3)

3.1.20. La bande du collimateur de pilotage a été récupérée et elle a pu être lue grâce au CNRC. La bande contenait des paramètres de voix et de bord jusqu’au moment de l’impact avec le sol. (1.11)

3.1.21. Le CT155 Hawk ne dispose pas d’un espace de rangement suffisant pour les publications IFR. (2.7.2)

3.1.22. L’enveloppe extérieure du gilet de sauvetage ne peut protéger la vessie du gilet des projectiles pointus, comme ceux produits par la fragilisation de la verrière pendant l’éjection. (2.7.6)

3.1.23. Le parachute aéroconique GQ1000 utilisé avec le CT155 Hawk occasionne un risque plus élevé de blessures pour le membre d’équipage si le poids de ce dernier se situe dans les limites supérieures de la plage de poids certifiée. (2.7.4)

3.1.24. À l’ouverture du parachute, il y a eu un « claquement des élévateurs » (impact entre le système de suspension du harnais combiné simplifié Gen 2 et la tête et la nuque d’un pilote). (2.7.5)

3.1.25. La taille du vide triangulaire observé dans le harnais combiné simplifié est plus grande si les bonnes procédures de sanglage ne sont pas respectées. Un sanglage correct ne laisse un vide que d'un à trois pouces.

3.1.26. Les aéronefs volant dans le voisinage des éjections n'ont capté aucun signal ni tonalité de radiobalise individuelle de repérage. (1.9)

3.1.27. Le voisinage de la 15e Escadre abrite de grandes populations de diverses espèces d'oiseau. Les mouettes qui traversent l'aérodrome présentent un grave risque à l'aviation pendant les mois d'été. (2.8)

3.1.28. Au cours de l'intervention immédiate, les techniciens de l'équipe d'intervention de la 15e Escadre (NFTC) chargés des systèmes d'évacuation ont effectué sans le savoir un travail dangereux sur les sièges éjectables. (2.9.1)

3.1.29. Le personnel des systèmes d'évacuation du CETA n'avait pas suivi une formation propre au CT155 Hawk. (2.9.1)

3.1.30. Le personnel des systèmes d'évacuation du CETA n'avait pas été informé du travail déjà effectué sur les sièges éjectables avant son arrivée sur les lieux. (2.9.1)

3.1.31. Des échantillons de produits pétroliers ont été envoyés pour analyse au Conseil de recherches de l'Alberta par l'intermédiaire du CETA. (2.9.2)

3.1.32. Au moment de l'accident, plusieurs membres du personnel au sol et du personnel navigant ne prenaient pas les précautions prescrites relativement au cordeau détonant miniature pendant les opérations de vol des CT155 Hawk (2.10)

3.1.33. Les entrevues menées auprès des pilotes de la 15e Escadre et du 419e Esc de la 4e Escadre ont révélé un manque de consensus sur les réactions immédiates appropriées, nécessaires lorsque s'affichent les indications de poste de pilotage détaillées à la section 2.4.

3.1.34. Un des membres d'équipage ne portait pas deux épaisseurs de vêtements de vol. (2.10)

3.1.35. Après l'alarme d'une seule cloche, les pompiers, l'ambulance et le SAR au sol de l'escadre se sont immédiatement rendus sur le lieu de l'accident. Il ne restait plus de véhicule pour transporter le médecin de l'escadre. (1.15.2)

3.1.36. L'analgésique administré à un pilote blessé sur les lieux de l'accident a complètement épuisé le stock à bord de l'ambulance. (1.15.2)

3.1.37. L'hôpital local n'a pas été averti de l'arrivée des patients souffrant de traumatismes parce qu'aucun appel téléphonique d'urgence au 911 n'a été fait. (1.15.2)

3.1.38. BMAT n’a pas été en mesure de fournir la documentation de maintenance de l’équipement de survie de l’élève-pilote pour l’analyse de l’enquête. (2.7.6)

3.2 Cause

L’avion CT155202 a heurté une mouette de Franklin, laquelle a été ingérée dans le moteur et a causé une perte de poussée immédiate et importante pendant une phase critique du vol.

4. MESURES DE PRÉVENTION

4.1 Mesures de prévention prises

4.1.1 L'équipe d'enquêteurs a breffé le commandant de la 15e Escadre, le commandant de la 2 EPFC, la direction du NFTC et ses personnels sur les conclusions préliminaires de l'enquête le 21 mai 2004. Toutes les mesures de prévention requises (section 4.2, sauf 4.2.7) ont été abordées pour que des mesures immédiates soient prises.

4.1.2 L'équipe d'enquêteurs a préparé une présentation Power Point destinée aux milieux du CT155 Hawk et du CT156 Harvard II relativement au cordeau détonant miniature et ses caractéristiques, ses dangers et les précautions recommandées. Cette présentation a été distribuée aux officiers de la sécurité des vols des 4e et 15e Escadres pour sensibiliser le personnel au sol et le personnel navigant.

4.1.3 La radiobalise individuelle de repérage du CT155 Hawk qui est déclenchée automatiquement n'a pas bien fonctionné. Depuis cet accident, BMAT a mis au point et a installé sur l'avion une antenne externe qui va tomber à l'écart du paquetage de survie après son décrochage pour assurer une diffusion adéquate du signal de détresse.

4.1.4 Le personnel des systèmes d'évacuation du CETA a été formé et il connaît les sous-systèmes d'évacuation de l'avion Hawk et est compétent à propos de ceux-ci.

4.1.5 La liste de vérifications du Plan d'intervention d'urgence de la 15e Escadre a été modifiée pour traiter de l'absence d'appel téléphonique d'urgence au 911 pour préparer l'hôpital local à recevoir des membres d'équipage blessés et éviter la légère confusion au sujet de l'emplacement de l'entrée de l'urgence à l'hôpital Union de Moose Jaw. Le Plan d'intervention d'urgence de la 15e Escadre a fait l'objet d'un exercice lors d'un CRASHEX, le 28 février 2006.

4.1.6 À cause de l'incapacité de localiser la documentation de maintenance de l'équipement de survie de l'élève-pilote, BMAT a mené une enquête interne détaillée et une revue des procédures visant à déterminer ce qui a pu contribuer à cette anomalie et comment la prévenir à l'avenir. Depuis cette revue, le système utilisé pour retracer l'équipement de survie s'est révélé efficace à plusieurs reprises au cours d'enquêtes sur la sécurité des vols.

4.1.7 Les trousses d'équipement des enquêteurs de la DSV comprennent maintenant une lumière noire portative permettant d'identifier des restes organiques (d'oiseau).

4.2 Mesures de prévention requises

Il est recommandé que :

4.2.1 l'ANO effectue une vérification des plans d'intervention d'urgence pour s'assurer qu'ils font état d'un moyen de confirmer que tout le personnel nécessaire est réuni et qu'il arrive rapidement sur les lieux d'un accident. L'intervention d'urgence a été rapide, mais on ne s'est pas assuré que tout le personnel requis avait été réuni avant le départ de l'escadre. Dans le cas qui nous occupe, le médecin de l'escadre a dû se rendre par ses propres moyens sur les lieux de l'accident.

4.2.2 l'autorité médicale aérospatiale valide la quantité d'analgésiques nécessaires aux interventions d'urgence et prescrive des réserves minimales pour les équipes d'intervention d'urgence médicales assignées aux accidents d'aéronef. Parce qu'un membre d'équipage souffrait énormément, on lui a administré des analgésiques par intraveineuse. Cette opération a complètement épuisé tout le stock prêt à être utilisé à bord de l'ambulance.

4.2.3 l'ANO élabore une procédure claire et concise de liste de vérifications du CT155 Hawk pour intervention rapide permettant de réagir à des ennuis de moteur à basse altitude, à l'intérieur des paramètres définis de vitesse et d'altitude. Il est en outre recommandé que la formation à cette procédure soit incluse dans le plan de cours, les publications et la formation sur simulateur. Le comportement idéal attendu en cas d'ennuis moteur à basse vitesse et à basse altitude doit être instinctif parce que le temps est compté et que les mesures doivent être quasiment immédiates. Il semble y avoir un manque de cohérence en ce que plusieurs réactions possibles ont été mentionnées par divers pilotes de CT155 Hawk au cours des demandes de renseignements formulées dans le cadre de l'enquête. La liste de vérifications actuelle est compliquée et peu claire en ce qui a trait à la réaction attendue face à un ennui moteur dans un environnement à basse altitude.

4.2.4 l'ANO s'assure que le personnel navigant et le personnel de soutien soient formés annuellement sur les précautions associées au cordeau détonant miniature. Le respect de ces précautions et leur surveillance doivent se poursuivre. Les projections de cordeau détonant miniature à la suite de sa détonation représente un grave danger pour le personnel navigant et le personnel au sol au cours d'une éjection et au sol. Le personnel au sol et le personnel navigant doivent respecter les mesures de sécurité existantes pour réduire au minimum tout risque de blessure. Il faut souligner la nécessité pour le personnel navigant de porter deux épaisseurs de vêtements de vol pour réduire au minimum la peau exposée.

4.2.5 l'ANT continue à chercher une solution à l'absence d'espace de rangement des publications à bord du CT155 Hawk. Le rangement des publications de vol a déjà été identifié comme posant un problème à bord du CT155 Hawk, surtout à cause de restrictions au bas de la combinaison anti-G et des profilés étroits du gouvernail de direction de cet avion. On a relevé des

dommages à la combinaison anti-G du pilote instructeur dans le cadre de cet accident; ils ont été le résultat de ce problème connu.

4.2.6 l'ANO s'assure que les limites de poids en vigueur dans les IEA soient respectées. Le poids maximal d'un membre d'équipage « tout équipé » à bord d'un CT155 Hawk est de 239,0 lb. Bombardier a demandé à Martin-Baker, lequel a accepté, d'établir un programme d'augmentation de la plage de poids tout équipé, qui en est maintenant à ses débuts. Pour le moment, les limites de poids en vigueur dans les IEA doivent être respectées.

4.2.7 l'ANT cherche à remplacer le parachute GQ1000 utilisé à bord du CT155 Hawk. Le parachute aéroconique GQ1000 présente des cas de vitesses de descente élevées et de blessures subséquentes à la réception qui correspondent aux graves blessures subies par le pilote instructeur. Le GQ1000 sera remplacé à bord du CF188 Hornet.

4.2.8 l'ANT remplace le harnais combiné simplifié Gen 2. Ce harnais, utilisé à bord du CT155 Hawk et dans la présente éjection a présenté des problèmes semblables à ceux observés sur l'avion CF188732, mais à un moindre degré. Plus précisément, on y a observé un « vide triangulaire », et les dommages à l'équipement de survie ainsi que les caractéristiques des blessures confirment les conclusions de l'enquête sur l'accident de l'avion CF188732, notamment qu'il s'est produit un claquement des élévateurs.

4.2.9 l'ANO s'assure que les pilotes de CT155 suivent correctement les procédures de sanglage. Il faut respecter scrupuleusement les instructions détaillées afin de réduire les risques de blessure à la suite d'une éjection.

4.2.10 l'ANT remplace ou modifie le gilet de sauvetage pour assurer une meilleure résistance aux perforations. L'enveloppe extérieure a été en mesure de protéger la vessie du gilet des éclaboussures du cordeau détonant miniature; par contre, elle ne peut protéger la vessie du gilet de projectiles pointus, comme ceux produits par la fragilisation de la verrière pendant la séquence d'éjection.

4.2.11 l'ANO mène d'autres études dans le voisinage de l'aérodrome de Moose Jaw pour mieux comprendre le péril aviaire afin d'améliorer le plan de réduction du péril aviaire. Les oiseaux, surtout des volées de mouettes locales, continuent à poser un problème dans le voisinage de la 15^{e} Escadre.

4.2.12 l'ANO s'assure que tout le personnel appelé à travailler sur les lieux d'un écrasement ait reçu la formation nécessaire. À la suite du présent accident, la sécurité a été compromise lorsque le personnel de l'équipe d'intervention d'urgence a travaillé sur des articles dangereux sans l'équipement de protection individuelle approprié (respirateurs).

4.2.13 l'ANO prenne des mesures pour s'assurer que tous les fournisseurs de services sous contrat connaissent les procédures à suivre à la suite d'un

accident, telles qu'elles sont détaillées dans le document A-GA 135-001/AA-001, *Sécurité des vols dans les Forces canadiennes*. Au cours de l'intervention d'urgence par la 15e Escadre, des échantillons de carburant et de liquides ont été prélevés et expédiés aux laboratoires du Conseil de recherches de l'Alberta pour analyse, contrairement à la procédure normale d'examen des liquides après un accident selon laquelle ces échantillons sont confiés aux laboratoires du CETQ.

4.3 Autres préoccupations liées à la sécurité

Il est recommandé que le CT155 soit équipé d'un CVR/FDR résistant aux écrasements.

4.4 Commentaires du DSV

La cause de cet accident est assez explicite. L'ingestion d'une mouette dans le moteur a mené rapidement à une situation dans laquelle l'éjection était la seule solution pratique. Un tel danger sera toujours présent. Les mesures de prévention déjà prises et l'adoption des autres mesures proposées devraient réduire les risques pour le personnel navigant advenant qu'une éjection similaire se produise à l'avenir.

Le directeur de la Sécurité des vols,

//Originale Signée Par//

C.R.Shelley
Colonel

ANNEXE A : PHOTOS

Photo 1 **Dommages au premier étage du compresseur**

Photo 2 Dommages causés par les éclaboussures du cordeau détonant miniature

ANNEXE B : SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AGL	au-dessus du sol
ATIS	système automatisé d'information de région terminale
BMAT	Bombardier Aéronautique, Entraînement au vol militaire
CETA	Centre d'essais techniques en aérospatiale
CETQ	Centre d'essais techniques de la qualité
CFR	intervention d'urgence
CNRC	Centre national de recherches du Canada
CVR/FDR	enregistreur phonique/enregistreur de données de vol
DAU	module d'acquisition des données
DTC	cartouche de transfert de données
ECA	amplificateur de commande de régime moteur
GSAR	recherche et sauvetage au sol
HCS	harnais combiné simplifié
HPRU	module de rappel assisté du harnais
HUD	collimateur de pilotage
IEA	Instructions d'exploitation de l'aéronef
IFRCC	Centre de contrôle des règles de vol aux instruments
KIAS	vitesse indiquée, exprimée en nœuds
MDC	cordeau détonant miniature
MSL	niveau moyen de la mer
NFTC	Entraînement en vol de l'OTAN au Canada
pi/min	pieds par minute
VMC	conditions météorologiques de vol à vue